

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF SERVICES USING THE RPS-2 SYSTEM FOR PLANNING MOBILE COMMUNICATION NETWORKS**Jafarov N.,**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Technologies of the Azerbaijan Technical University. Azerbaijan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0667-8819>

Gasumova Z.

Senior Lecturer at the Department of Information Technologies and Systems, Azerbaijan University of Architecture and Construction. Azerbaijan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3791-1890>

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА УСЛУГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ RPS-2 ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ**Джафаров Н.Д.**

Кандидат технических наук, доцент кафедры Компьютерных Технологий Азербайджанского Технического университета. Азербайджан
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0667-8819>

Гасымова З.Я.

Старший преподаватель кафедры информационных технологий и систем Азербайджанского университета архитектуры и строительства. Азербайджан
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3791-1890>
<https://doi.org/10.5281/zenodo.10381435>

Abstract

The article is devoted to the assessment of the quality of service using the RPS-2 system for planning mobile networks. First, a brief information is given about the modeling of radio communication systems and the main problems that exist in the modeling of radio networks are commented on. A summary of the most frequently used software products is provided that implement optimal placement of transmitters, correct determination of their composition and determination of operating modes of transmitting equipment in order to ensure maximum service area and increase the bandwidth of the radio network. The technology of designing and planning mobile communication systems is interpreted.

Importance is attached to the implementation of the widely used RPS-2 software package for planning and effective evaluation of the radio network. To do this, the following issues are considered: the effectiveness of using the RPS-2 package; modeling of communication systems in RPS; how to work with RPS; hardware databases (antenna database; transceiver database) supported by RPS, and based on all this, reports on the assessment of the quality of mobile network planning are made.

Аннотация

Статья посвящена оценке качества обслуживания с использованием системы RPS-2 для планирования мобильных сетей. Сначала дается краткая информация о моделировании систем радиосвязи и комментируются основные проблемы, существующие при моделировании радиосетей. Приводится сводка наиболее часто используемых программных продуктов, реализующих оптимальное размещение передатчиков, правильное определение их состава и определение режимов работы передающего оборудования с целью обеспечения максимальной зоны обслуживания и увеличения пропускной способности радиосети. Интерпретируется технология проектирования и планирования систем мобильной связи.

Придается значение реализации широко применяемого программного пакета RPS-2 для планирования и эффективной оценки радиосети. Для этого рассматриваются следующие вопросы: эффективность использования пакета RPS-2; моделирование систем связи в RPS; порядок работы с RPS; аппаратные базы данных (база данных антенн; база данных приемопередатчиков), поддерживаемые RPS, и на основе всего этого делаются отчеты об оценке качества планирования мобильных сетей.

Keywords: RPS; radio network; cellular network; antenna database; transceiver; digital map; base station.**Ключевые слова:** RPS; радиосеть; сотовой сет; база данных антенн; приемопередатчик; цифровая карта; базовая станция.

В связи с многообразием и сложностью задач моделирования радиосетей трудно рассчитывать на реализацию в одной универсальной модели полного набора функций, необходимых для решения всех перечисленных задач. Поэтому в настоящее

время сложилось несколько специализированных типов автоматизированных компьютерных систем анализа и оптимизации характеристик беспровод-

ных сетей, каждому из которых присущи свои особенности применяемых моделей. Среди них следует выделить четыре ключевых типа:

- системы частотно-территориального планирования радиосетей (применяются на этапе развертывания новых или модернизации существующих радиосетей различного назначения для оптимального выбора мест и состава оборудования приемопередающих станций);
- системы, обеспечивающие решение задач электромагнитной совместимости радиосетей (применяются, как и первые, на этапе развертывания новых или модернизации существующих радиосетей различного назначения для согласования их параметров с параметрами других сетей с целью минимизации взаимных помех);
- системы мониторинга качества работы существующих сетей (применяются для измерения и последующего анализа характеристик сети в реальных условиях ее функционирования);
- системы, предназначенные для оптимизации принципов передачи информации и параметров оборудования разрабатываемых сетей.

Для решения перечисленных задач моделирования радиосетей требуются следующие исходные данные:

1. Карта местности, необходимая для адекватного описания условий распространения сигналов в рассматриваемом регионе; при использовании модели в компьютерных автоматизированных системах проектирования радиосетей карта местности должна быть представлена в электронном виде в одном из стандартных форматов (например, «MapInfo» или «Панорама»).
2. Сведения о законе распределения абонентов (трафике) на рассматриваемой территории и их характеристиках (удельной эрланговой нагрузке), заданные аналитически или представленные в обменном формате картографических данных.
3. Технические характеристики планируемой сети (технология передачи и обработки информации, частотный диапазон, требуемое отношение сигнал/шум и т. д.), указанные в ее стандарте.
4. Характеристики применяемого оборудования.
5. Координаты и технические характеристики радиосредств, функционирующих в рассматриваемом регионе, необходимые для расчета показателей ЭМС проектируемой и действующих в данном регионе сетей.

Для обеспечения максимальной территории обслуживания и повышения емкости радиосети необходимо оптимальным образом разместить приемопередатчики, правильно определить состав и назначить режимы работ приемопередающей аппаратуры. Решение этих задач предполагает применение компьютерных средств планирования радиосетей. Наиболее широко применяются следующие программные продукты [1.6].

1. **Alcatel 955 Radio Network Planning**. Обеспечивает расчет покрытия, планирование частот, прогноз качества услуг, генерацию параметров BSS. К

особенностям системы можно отнести реляционную базу данных для планирования сети и администрирования, многопользовательскую систему с различными уровнями доступа, графический интерфейс пользователя, который может настраиваться в соответствии с предпочтениями абонента, возможность одновременного планирования нескольких фаз проекта, индивидуальные модели расчетов для каждого сайта, трехмерные алгоритмы для обсчета распространения лучей в микросотах, поддержку концентрических сот, поддержку многочастотных проектов (GSM900/1800), редактируемую матрицу разделения каналов, мощные алгоритмы назначения частот, генерацию данных BSS, улучшенную оценку данных измерений (интерфейс в A954-RNM), интерфейс в A956-RNO [1].

2. **Alcatel 956 Radio Network Optimization**. Обеспечивает оптимизацию сети GSM.

3. **Alcatel 954 Radio Network Measurement**. Дает возможность провести текущий анализ состояния сети.

Программный пакет RPS-2 позволяет проводить частотно-территориальное планирование и выполнять все необходимые расчеты для оценки качества связи и зон обслуживания радиосети на основе реальных данных о рельефе местности.

4. **«БиЛайн проект»**. Система предназначена для решения задачи структурной оптимизации сети (получения оптимальной, с точки зрения радиопокрытия, схемы расположения базовых станций и ориентации секторов). Обеспечивается также расчет радиопокрытия и зон приоритетного обслуживания базовых станций (включая планирование микросот). Для расчета радиопокрытия в системе реализован набор моделей, рекомендованных Европейским институтом стандартов в области телекоммуникаций. При расчете микросот используется многолучевая модель с учетом переотражений и дифракции. Калибровка моделей распространения радиосигнала по результатам натурных измерений позволяет анализировать степень соответствия прогнозируемого радиопокрытия и натурных измерений и производить калибровку моделей распространения радиосигнала.

5. Системы **RADIUS** и **RPS2**. Система позволяет получить изображение общего покрытия рассматриваемого региона сетью базовых станций, изображение зоны наилучшего обслуживания каждой станцией (или каждым сектором станции).

Системой рассчитывается уровень мощности, которую должен излучать подвижный абонент или фиксированная абонентская станция, чтобы их сигнал превышал чувствительность приемника базовой станции, формируется изображение отношения сигнал/помеха в рассматриваемой местности для выбранного сигнала (информационного, пилот-сигнала и т.д.) [3].

6. **decibel Planner**. Программа служит для анализа распространения радиосигнала и моделирования сети передающих станций на основе ГИС MapInfo.

Программа использует эффективные алгоритмы моделирования систем радиосвязи для достижения точности планирования сети, также объединяет функции частотного и пространственного анализа и моделирования сетей в одном программном пакете.

7. Система QEDesign. Система QEDesign для сетей cdmaOne (tm) (IS-95 и J-STD-008) позволяет выполнять высокоточное и эффективное проектирование радиосетей. QEDesign имеет интегрированную поддержку аналоговых систем, что упрощает операторам переход с аналоговых систем на CDMA. Пакет программного обеспечения включает набор функций для точного моделирования комплексных систем CDMA, включая коллективные сети операторов CDMA, помехи от пилот-сигналов и распространение волн в городской местности с плотной застройкой. QEDesign дает комплексное технологическое решение сетевого планирования для сети CDMA, которое направляет операторов на начальной стадии планирования, при оптимизации системы и расширении сети.

Таким образом, представленные системы планирования и оптимизации сотовых сетей имеют ряд положительных качеств. Вместе с тем общим недостатком этих систем является ориентация на планирование и оптимизацию сетей сотовой связи в крупных городах [1].

Технология проектирования CCC. Проектирование – один из наиболее сложных и ответственных этапов развертывания систем сотовой связи (CCC), поскольку он должен обеспечить возможно более близкое к оптимальному построение сети по критерию эффективность-стоимость. При проектировании необходимо определить места установки БС и распределить имеющиеся частотные каналы между ячейками (составить территориально-частотный план в соответствии с принципом повторного использования частот) таким образом, чтобы обеспечить обслуживание сотовой связью заданной территории с требуемым качеством при минимальном числе БС, т.е. при минимальной стоимости инфраструктуры сети. Фактически эта задача очень сложна. С одной стороны чрезмерно частая расстановка БС невыгодна. Так как влечет за собой неоправданные затраты. С другой стороны, слишком редкое расположение БС может привести к появлению необслуживаемых участков территории, что недоступно. Задача дополнительно осложняется трудностью аналитической оценки характеристики расположения сигналов и расчета напряженности

поля, а также необходимостью учета неравномерности трафика в пределах обслуживаемой территории.

В проектируемой сети обязательно производятся экспериментальные измерения характеристик электромагнитного поля, и по результатам измерений схема сети также корректируется. Необходимый объем экспериментальных измерений, и частота их повторения определяется на основании опыта проектировщиков. Окончательно качество проекта оценивается уже на этапе эксплуатации сети, где также неизбежны его корректировка и доработка, особенно в самом начале работы, когда производится настройка и оптимизация сети. Этот этап работы фактически оказывается наиболее трудоемким. Доработки проекта требуются по мере развития и совершенствования сети, для повышения ее качества.

Качество услуг, предоставляемых CCC, во многом определяется характеристиками ее подсистемы БС. В процессе планирования сети БС решаются следующие задачи: обеспечения радиопокрытия территории, на которой должны предоставляться услуги связи; построение сети, емкости которой будет достаточно для обслуживания создаваемого абонентами трафика с допустимым уровнем перегрузок; оптимизация решения указанных выше задач (с использованием минимального числа сетевых подсистем и элементов) на протяжении всего цикла сети.

На протяжении всего жизненного цикла сети число ее абонентов, объем трафика и его распределение по обслуживаемой территории постоянно изменяются. Кроме того, существуют сезонные (периодические) изменения объема трафика и его территориального распределения. Конфигурация сети БС должна адаптироваться к происходящим изменениям, поэтому ее планирование – это непрерывный процесс. В нем можно выделить несколько этапов: планирование радиопокрытия; планирование емкости; частотное планирование; анализ работы и оптимизация сети.

Такое поэтапное деление в значительной степени условно, так как все этапы тесно взаимосвязаны между собой. Последовательность этапов планирования сети БС показана на рисунке 1.

На этапе планирования радиопокрытия определяется минимально необходимое число БС (сот), их оптимальное расположение на местности и радиотехнические параметры для обеспечения радиопокрытия заданной территории с требуемым уровнем мощности радиосигнала, принимаемым мобильным терминалом.



Рисунок 1. Этапы планирования сети БС

Одним из наиболее широко используемых пакетов программного обеспечения для планирования радиосетей является система PRS (Radio Planning System).

Для обеспечения максимальной емкости радиосети необходимо оптимальным образом разместить приемопередатчики, правильно определить состав и назначить режимы работы приемопередающей аппаратуры.

Программный пакет планирования радиосетей RPS-2. Решение этой задачи в условиях современной сложной радио обстановке невозможно без использования компьютерных средств планирования радиосетей. Одним из таких компьютерных инструментов планирования беспроводных радиосетей является программный пакет RPS-2. Важными особенностями пакета RPS-2 являются высокая точность применяемых моделей распространения радиоволн, а также возможность использования его для планирования радиосетей практически во всех используемых в настоящее время стандартах [1,4].

Система RPS предназначена для планирования радиорелейных и сотовых сетей связи. RPS позволяет проводить частотное планирование и выполнять все необходимые расчеты для оценки качества связи и зон обслуживания радиосети на основе реальных данных о рельефе местности.

Программу RPS-2 можно применять для планирования как макро-, так и микроячеек сотовых сетей, включая микросотовые системы, работающие внутри зданий. Как и во всех системах подобного рода, ключевым компонентом программы RPS-2 является положенная в ее основу модель радиоканала. В RPS-2 заложена возможность выбора пользователем одной из нескольких моделей распространения сигналов, в том числе строгой модели (модель RPS), максимально полно учитывающей все основные факторы, влияющие на уровень принимаемого сигнала.

Рассчитанные с помощью строгой модели уровни сигналов от всех источников сигнала в рассматриваемом регионе являются основой для выполнения анализа их электромагнитной совместимости. На этом этапе определяются источники, частотный диапазон излучения которых пересекается с диапазоном анализируемого приемника и выдается отчет об уровне помех от каждого такого излучателя с указанием степени влияния каждого из них

на ухудшение порогового сигнала на входе данного приемника [4].

Известно большое количество методик расчета обеспеченности радиосвязью абонентов в сотовых сетях. Данные методики основаны на результатах теоретических и практических исследований распространения радиоволн в реальных условиях. Процесс оценки зоны обслуживания состоит из нескольких этапов.

На первом этапе определена мощность сигнала, излучаемая в эфир. На втором - средняя мощность сигнала на приемной антенне, при которой обеспечивается заданная чувствительность приемника. По результатам этих этапов определен допустимый уровень потерь на трассе распространения радиосигнала. На третьем этапе выбрана модель расчета потерь на трассе, и на ее основе построена зависимость потерь от расстояния. По данному графику определена средняя дальность радиосвязи с учетом запаса на обеспеченность связью по месту и времени.

Программный пакет RPS-2 представляет собой среду, позволяющую производить приближенный расчет параметров, а также моделирование и разработку различных систем и сетей мобильной связи.

Эффективность использования пакета RPS-2 определяется:

- 1) достаточно простым интерфейсом пользователя;
- 2) большим количеством моделей функциональных блоков (в частности, элементов систем связи);
- 3) возможностью размещать элементы сети связи, а также редактировать карту местности;
- 4) разнообразием видов функциональных элементов систем подвижной связи.

Моделирование систем связи в RPS. Проект RPS включает в себя всю информацию, связанную с планированием радиосетей в некотором регионе (рабочей области), который определяется цифровой картой местности. Для одного региона может быть создано несколько проектов, но в одном проекте нельзя объединить несколько регионов, определяемых разными цифровыми картами.

Проект сохраняется на диске в текстовом файле с расширением «.рго». В состав проекта входят следующие компоненты:

- имя каталога с цифровой картой региона;
- имя каталога с базами данных оборудования;

- имя рабочего каталога, в котором сохраняются результаты расчетов;
- общие параметры, относящиеся ко всему региону;
- описание сетей, размещенных в данном регионе;
- перечень базовых станций и их параметров для каждой сети;
- перечень радиолиний для радиорелейных сетей;
- информация о выполненных расчетах;
- перечень дополнительных препятствий, корректирующих цифровую карту, и их параметры;
- характеристики типов местности, учитываемые в расчетах;
- атрибуты объектов, отображаемых на экране.

Развитие проекта предусматривает размещение новых объектов (сетей, станций, радиолиний и т.д.), изменение параметров и удаление ранее созданных объектов.

Результаты расчетов, требующих больших затрат времени, сохраняются на диске, информация о них хранится в проекте и используется для отображения результатов без проведения повторных расчетов.

Базы данных оборудования могут расширяться и редактироваться независимо от проекта и использоваться в нескольких проектах одновременно. Следует учитывать, что изменение параметров оборудования в базе данных скажется на результатах расчетов во всех проектах, ссылающихся на эту базу данных.

Порядок работы с RPS:

- Задать общие параметры для нового проекта, имена рабочих каталогов и выбрать тип первой сети проекта.
- Открыть новый проект. При этом создается описание первой «пустой» сети.
- Установить параметры сети, выбрав радиостандарт или задав собственный набор сетевых параметров.

- Настроить параметры, описывающие свойства различных типов местности: высоту, коэффициенты, корректирующие потери распространения, распределение трафика.

• Осуществить планирование сети связи. В ходе этой операции на цифровой карте размещаются базовые станции и выбираются их параметры. В радиорелейных сетях устанавливаются связи между станциями (формируются радиолинии). При необходимости в базы данных оборудования добавляются новые элементы.

- Выполнить необходимые расчеты и распечатать (или сохранить) результаты. В расчетах во внимание принимаются лишь объекты, определенные в данной сети.

В рамках одного проекта можно сформировать несколько сетей разных типов. Однако в данной версии RPS наличие других сетей не учитывается в расчетах, т.е. сети независимы друг от друга.

Прежде, чем начать работу с RPS, необходимо подготовить цифровую карту района, сформировать базы данных оборудования и использовать иерархическая система меню.

В RPS поддерживаются следующие базы данных оборудования:

- База данных антенн с диаграммами направленности (файл antenna.sdb);
- База данных приемопередатчиков (файл trxdata.sdb);
- База данных волноводов (файл wgdata.sdb).

Параметры оборудования, содержащегося в базах данных, используются для инициализации параметров станций.

При создании новой станции пользователь указывает тип антенны, приемопередатчика и волновода. RPS выбирает параметры, указанных устройств, из базы данных и копирует их в набор параметров станции.

Некоторые параметры могут быть уточнены для конкретной станции.

База данных антенн. Для пополнения базы данных или для изменения параметров антенн следует выбрать пункт меню Equipment/Antennas. На экране появится следующее диалоговое окно (рис. 2).

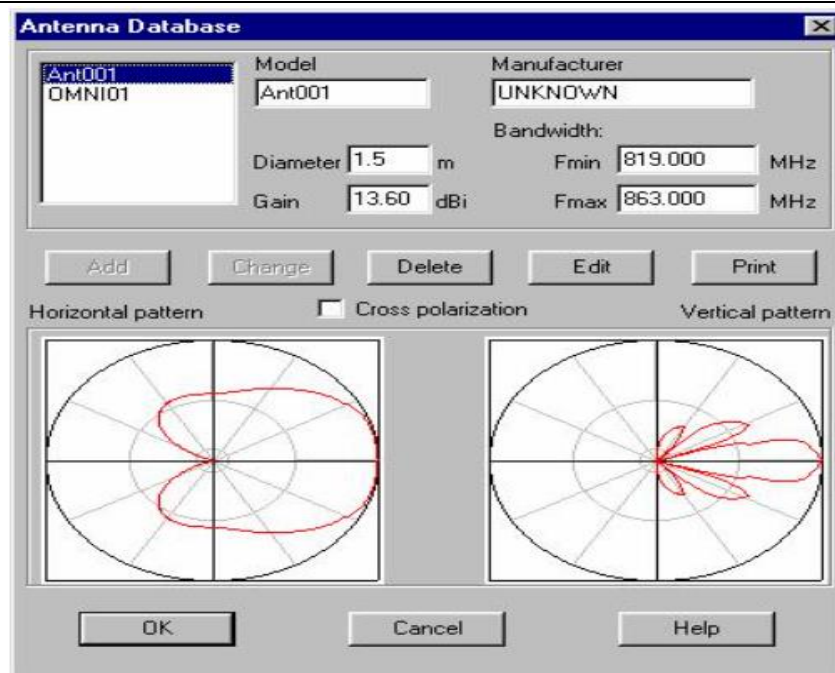


Рисунок 2. Диалоговое окно Antenna Database

В списке, расположенном в левом верхнем углу окна, перечислены названия антенн, содержащихся в базе данных.

Пакет позволяет производить следующие действия с базой данных антенн:

- Изменение параметров антенны
- Добавление новой антенны
- Удаление антенны
- Изменение диаграммы направленности

Диаграмма направленности может быть загружена из заранее подготовленного текстового файла, рекомендуется создавать файлы с расширением “.dgm”.

База данных приемопередатчиков. Для пополнения базы данных или для изменения параметров отдельных устройств необходимо выбрать пункт меню Equipment/Transceiver. На экране появится следующее диалоговое окно (рис .3).

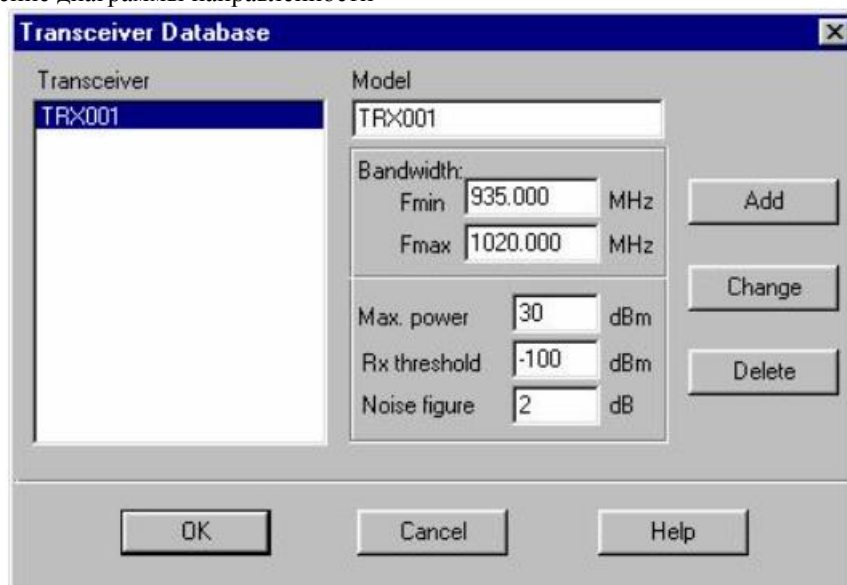


Рисунок 3. Диалоговое окно Transceiver Database

В списке Transceiver перечислены названия приемопередатчиков, содержащихся в базе данных.

Пакет позволяет производить следующие действия с базой данных антенн:

- Изменение параметров приемопередатчика
- Добавление нового приемопередатчика
- Удаление приемопередатчика

Для пополнения базы данных или для изменения параметров волноводов следует выбрать пункт меню Equipment/Waveguide. На экране появится следующее диалоговое окно.

В списке Waveguide перечислены названия волноводов, содержащихся в базе данных.

Пакет позволяет производить следующие действия с базой данных волноводов:

- Изменение параметров волновода

- Добавление нового волновода
- Удаление волновода

Прежде чем начать работу с новым проектом необходимо подготовить цифровую карту региона, с которым будет связан проект. Необходимо подготовить также базы данных оборудования. Порядок подготовки цифровых карт подробно рассматривается в приложении. Формирование баз данных оборудования рассмотрена в разделе «Работа с базами данных».

Цифровые карты местности хранятся в специальном формате, принятом в RPS. В состав RPS входят вспомогательные программы для преобразования цифровых карт из форматов MAPINFO и PLANET в формат RPS.

Цифровая карта включает в себя следующие компоненты:

Набор растровых листов карты, содержащих для каждой точки информацию о высоте над уровнем моря и типе местности;

Набор векторных файлов, описывающих линейные объекты: реки, дороги, линии электропередачи и т.п.;

Набор файлов с надписями, размещаемыми на карте: названия населенных пунктов, рек, объектов и т.п.

Описание карты: размер листа, масштаб, координаты листов карты, тип проекции, в которой получена карта.

Размеры рабочей области определяются набором листов цифровой карты. Листы карты должны быть одинакового размера, иметь одинаковое разрешение и не должны накладываться друг на друга.

В ходе работы с проектом к цифровой карте могут добавляться новые листы, что приведет к автоматическому расширению рабочей области. Удаление листов карты из цифровой карты не допускается.

С каждым проектом RPS должна быть связана цифровая карта местности, в которой проводится моделирование. Имя каталога, в котором размещается карта, задается при создании нового проекта. В ходе работы карта местности используется для размещения объектов (станций, радиолиний) и отображения результатов расчетов.

Цифровая карта включает в себя три составляющих: растровые, векторные и текстовые данные.

Растровые данные содержат информацию о высоте и типе местности для каждой точки местности. Эта информация используется во всех расчетах и является обязательной.

Векторные и текстовые данные описывают вспомогательные объекты, такие как дороги, реки, названия населенных пунктов. Векторные и текстовые объекты используются только при отображении карты и не являются обязательными.

В RPS реализованы три базовые формы представления растровой информации:

- Карта типов местности. Цветом выделяются различные типы местности;
- Карта относительных высот. Высота местности выделяется оттенком серого цвета, высоким точкам соответствует более светлый оттенок;
- Карта рельефа (рис.4).

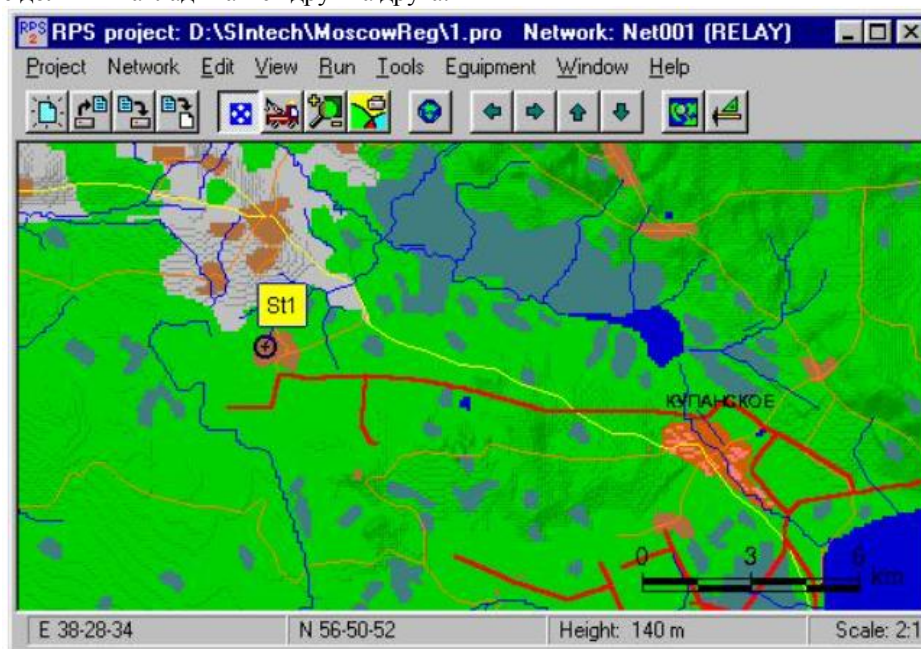


Рис.4. Карта рельефа с векторными объектами.

Расчеты для сотовой сети. Для расчета характеристик сотовой сети в RPS реализованы следующие две группы функций:

A)

- Просмотр профиля местности между двумя точками.
- Определение области прямой видимости

- Расчет принятого сигнала в окрестности базовой станции.

B)

- Расчет максимального уровня принятого сигнала от нескольких базовых станций в заданной области.

- Расчет отношения сигнал-помеха в заданной области.
- Расчет необходимой мощности передатчика абонента для связи с базовой станцией в заданной области.
- Определение зон обслуживания для базовых станций.
- Определение зон перекрытия сигнала от нескольких базовых станций.
- Определение зон наличия (отсутствия) связи как в прямом, так и в обратном направлении.
- Определение загруженности базовых станций.

Расчеты группы А выполняются аналогично расчетам для радиорелейных сетей.

Расчеты группы В базируются на расчетах уровня принятого сигнала в окрестности базовых станций, которые должны быть выполнены заранее.

Порядок проведения расчетов группы В:

- Расчет принятого сигнала в окрестности всех базовых станций.
- Выбор области для расчета.
- Выбор базовых станций.
- Выбор вида расчета.

Результаты расчета для выбранной области сохраняются на жестком диске.

Для выбранной области можно оперативно изменять вид отображаемых данных, включать и выключать отображение результатов.

Для выбранной области можно изменять состав базовых станций, принимаемых во внимание в расчетах. В этом случае необходимо выполнить повторный расчет.

Примечание: С каждым проектом в RPS связан набор параметров общего назначения, используемый в расчетах. К таким параметрам относятся, например, характеристики климата района, в котором производится расчет, максимальная дальность

расчетов, требуемое отношение сигнал помеха, характеристики частотного диапазона.

Диалог для изменения общих параметров проекта вызывается в пункте меню Project/Preferences, для изменения сетевых параметров - меню Network/Parameters.

Цифровая карта отображается на экране в виде нескольких слоев:

- Типы местности, например, лес, город, кварталы.
- Векторные объекты, например, реки, дороги.
- Названия географических объектов.
- Сетевые объекты (станции, радиолонии).

Каждый слой состоит из множества объектов. Диалог настройки параметров цифровой карты служит для выбора отображаемых объектов и их свойств.

Список литературы:

1. А. Ю. Глухов. Разработка системы планирования и оптимизации сетей сотовой связи стандарта NMT-450I. Вестник УлГТУ 3/2000.
2. Shedd M. Covering all the bases//GSM Q. 1999. Issue 13. P. 22—26.
3. Российские системы планирования RADIUS и RPS-2/УМобильные системы. 1998. №4.С.40-43.
4. Буснюк Н.Н., Мельянец Г.И. Системы мобильной связи: лабораторный практикум. Минск : БГТУ, 2018. – 105 с.
5. Бабков, В. Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование: учеб. пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 222 с.
6. Бабков В.Ю. Качество услуг мобильной связи. Оценка, контроль, управление / Бабков В.Ю., Полинцев П.В., Устюжанин В.И. 2005 г. 98-102 с.